

투수성 유출저감시설 설치기준에 관한 연구

○최 계운*, 심 재현**, 김 현수***, 장 연규***

1. 서 론

하천은 오랜 세월 동안 산지, 평지 등의 지표면에 떨어진 우수를 배제하기 위하여 자연발생적으로 생성되어져 왔다. 그러나, 점차 경제활동이 왕성해지고 인구가 도시에 집중되어 토지의 이용도나 유역 형상의 변화가 심하게 일어나면서 하천에 이르는 유출량이 크게 증가되었다. 유출량의 급격한 증가는 기존의 하천으로 하여금 증가된 유량을 적기에 배제하지 못하게 하여 주변 침수를 증가시킬 우려가 크고, 지표면 또는 하천내 유출량의 증가는 홍수피해를 더욱 가중시킬 수밖에 없다. 이러한 유출량 증가에 적절히 대응하기 위하여 인공적으로 하천폭을 증가시키고, 제방을 높이는 대책 등이 시행되고 있으나, 엄청난 공사비 문제, 평시 하천 유지유량의 부족, 하천수의 오염 심화 등의 문제점이 있어, 대책의 단순적용에 어려움이 있다.

유출량을 저감시킬 수 있는 시설은 과거에도 일부 사용된바 있어, 도심지의 우수지 등의 저류조가 종종 활용되어 왔었다. 그러나, 우수지의 규모가 점차 대규모화 할 뿐만 아니라, 홍수시와는 달리 평시에 우수지의 활용문제나 우수지내 체류수가 오랜 기간 동안 방치됨에 따른 오염심화문제 등이 또 다른 문제로 제기되고 있어 대규모의 우수지보다는 소규모의 저류시설의 설치나 지하침투 축진을 통하여 홍수시 짧은 시간내 하천을 통한 직접 유출량을 감소시키는 것이 크게 효과적이라는 의견이 대두되고 있다.

지하침투를 촉진시키기 위한 시설은 주로 지표로부터 지하로 침투가 용이한 시설, 즉 투수성을 확보한 시설로, 침투통, 침투트랜치, 투수성 포장재, 투수성 보도 블록 등 여러 종류가 있으며, 이를 통틀어 투수성 유출저감시설이라고 한다. 이와 같은 투수성 유출저감시설은 선진국에서 최근 들어 상당히 폭넓게 사용되고 있고, 우리 나라의 경우도 일부 지방자치단체에서 곳곳에 설치하여 활용하기도 하고 향후 활용을 위한 연구가 진행되기도 하였다. 따라서 투수성 유출저감시설의 설계에 필요한 각종 조사를 위한 원칙이나 방법을 제시하거나, 정확한 시설규모 결정을 위한 계산근거의 기준이나 설치지침 등이 제정되어 활용된다면 투수성 유출 저감시설 설치를 촉진하고 그 활용도를 극대화해 나가는데 크게 도움이 될 것이다.

2. 투수성 유출저감 시설의 치수효과

투수성 유출저감시설을 설치하는 경우 지하로 우수를 침투시킴으로써 지표면 유출을 저감시키고 하천내 유출을 줄일 수 있게 된다. 또한, 투수성 유출저감시설을 설치한 후의 유출 특성은 침투홍수량 측면에서 살펴볼 때 홍수시 직접 유출량을 감소시켜 침투 홍수량 발생시각이 지체되고 그 양도 감소되게 되며, 아울러 홍수시 하천을 통하여 유출되는 총량도 지하로 침투되거나 지하에

* 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수

** 국립방재연구소 연구관

*** 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정

서의 저류효과로 인하여 감소하게 된다. 따라서 홍수시 도시유역에서의 홍수에 의한 피해경감을 기대할 수 있으며, 나아가 상습 침수지역에 대한 대책으로 활용할 수 있다. 또한, 우수를 지하로 침투시킬 수 있기 때문에 지하수의 함양이 높아지게 되고, 우기 혹은 홍수기에 유출로 유실되던 수자원을 개발가능한 지하수 자원으로의 변화를 유도함으로써, 수자원 확보에 일익을 담당할 수 있게 된다. 우기에 저류된 우수를 이용하여 하류부 하천에 유량을 지속적으로 공급할 수 있으며, 침투된 지하수가 하천에 유량을 공급함으로써 평상시뿐만 아니라 갈수기에도 하천유량을 충분히 확보할 수 있게 한다. 이를 통하여 도시하천의 건천화를 예방할 수 있다. 또한, 저류시설을 이용하여 사용 가능한 물을 확보함으로써 용지, 부지내에 별도의 수처리 시설을 만들지 않고도 물 공급을 원활하게 할 수 있으며 이를 통하여 수처리 시설 설치비용을 크게 절감시킬 수 있다.

침투시설을 적용함으로써 하천 유량이 확보되고 저류지 등 수변공간을 확보함으로써 도시민의 휴식과 레크리에이션의 공간으로써의 활용도가 높아지게 된다. 또한 수중생태계와 수변생태계가 복원됨으로써 도시민의 자연친화와 정서함양에 도움을 줄 수 있다.

3. 시범사업 지역내 침투통 효과의 분석

투수성 유출저감을 위한 시설중의 하나인 침투통을 전국적으로 시범 설치하여 설치효과분석을 수행하였으며 현장자료의 수집은 무선이동통신을 이용한 실시간 현장 계측시스템(강우-침투통수위 측정)이 적용되었다. 여기서는 자료수집에 원활하게 이루어진 청주 지역의 2001년 강우를 중심으로 분석하여 보고자 한다. 또한, 도시유출 수치모델을 이용하여 청주지역 전체 유역에 침투통을 설치하였을 경우도 고려하여 보았다.

3.1 총 유출량의 저감효과

현장자료는 시간과 강우량, 그리고 침투 및 일반침투통의 수위자료로 이루어져있다. 여기서 각 수위자료를 침투통내의 배수관거 유출량으로 환산하기 위하여 웨어로 간주하여 계산에 적용하였고 침투통을 유역 전체에 걸쳐 설치하였을 경우 효과를 정량화하기 위하여 도시 유출모형인 ILLUDAS 모형을 적용하여 유출저감효과를 산정하였다.

일반침투통 유출량과 침투통의 유출량을 산정한 다음 이 두 침투통의 유입조건이 같다고 가정하면 침투량은 일반침투통 유출량과 침투통의 유출량의 차로 구할 수 있다. 그리고 침투율은 이 침투량을 일반침투통의 유출량으로 나누면 구할 수 있다. 각 날짜별로 계산 수행된 결과를 표로 나타내었다.

표 1. 청주 지점의 침투통 효과

날짜	총강우량 (mm)	일반침투통 유출량 $Q(m^3)$	침투통 유출량 $Q_i(m^3)$	침투량 $Q-Q_i (m^3)$	침투율 $(Q-Q_i)/Q (%)$
4.11	4.5	0.066	0.000	0.066	100.00
6.21	22.5	2.301	0.734	1.567	68.10
6.25	33.0	5.835	2.571	3.264	55.94
6.30	90.5	20.768	6.111	14.657	70.58
7.15	13.5	0.917	0.094	0.824	89.80
7.21	70.5	14.915	4.750	10.165	68.16
7.23	10.0	2.008	0.495	1.513	75.33
7.31	70.5	15.607	3.660	11.947	76.55
8. 1	42.5	12.032	1.514	10.519	87.42
8.13	20.0	2.199	1.005	1.194	54.29

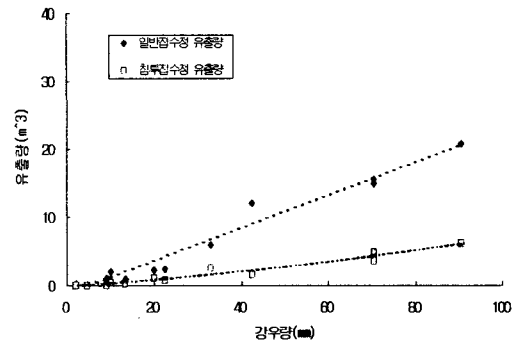


그림 1. 강우량과 유출량의 관계(청주)

청주에서는 대부분 100mm이하의 강우가 발생하였는데, 일반침투통과 침투통의 강우량에 대한 유출량의 저감율은 평균적으로 약 73.4%로 나타났다. 침투통의 유출저감효과는 그림1에 나타낸 바와 같이 쉽게 파악할 수 있다. 먼저 일반침투통의 유출은 강우가 늘어남에 따라 유출량도 동시에 정비례적으로 상승하나 침투통의 유출량은 현저히 유출저감효과를 나타내고 있고, 다른 지역의 경우에는 강우가 계속 증가하게 되면 침투량은 서서히 줄어들어 점점 일반침투통의 유출량에 가까워 지는 경향을 보여 주었다.

3.2 배수전역으로 확대 설치했을 경우 효과(ILLUDAS 결과)

수치모형 모의결과는 표 2에 유출량과 침투유량으로 나누어 결과를 나타내었다. 앞에서 언급한 것처럼 청주에 설치한 침투통 하나의 우수저감율은 7월 21일에는 68.10% 이고 측정된 전체 강우에 대해서는 평균 73.4%의 저감율을 보였다. 이러한 침투통을 시범유역 전체의 도로에 확대 설치하였을 경우 7월 21일 강우에 대한 모의결과는 약 18.5%의 총 유출량 저감과 16.6% 침투유량 저감효과가 있는 것으로 나타내었다.

표 2. 침투통을 유역전체로 확대 설치시 유출량/침투유량

날 짜	일반시설 유출량 (m ³)	침투통 설치시 유출량 (m ³)	유출량 저감율 (%)	일반시설 침투유량 (cms)	침투통 설치시 침투유량 (cms)	침투유량 저감율 (%)
2001/7/21	150526.2	122817.6	18.4	33.69	28.09	16.6%

4. 투수성 유출저감시설의 설치기준

4.1 침투통

집수규모가 작고 침투량이 작은 경우는 침투통을 단독으로 설치하며 집수규모가 크거나 침투량이 많아서 침투통 하나만으로 충분한 유출저감 효과를 가질 수 없는 경우에는 침투트랜치 등의 다른 유출저감시설과 조합하여 설치한다. 그림2는 침투통의 표준구조를 나타내고 있다.

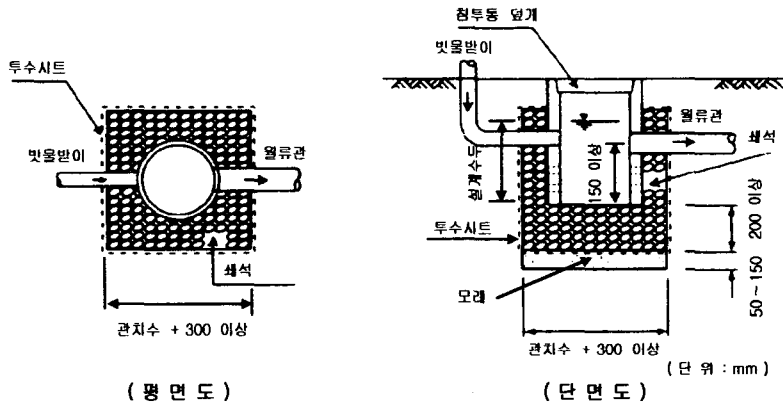


그림 2. 침투통의 표준구조도

침투통을 단독으로 설치하는 것과 다른 유출저감시설과 조합하여 설치하는 것은 집수면적과 침투통 및 월류량에 따라 달라지게 된다. 특히 침투통을 통하여 침투되는 유량은 도시화 등에 의하여 증가되는 유출량을 감당하든가 또는 침수피해 경감을 위한 침투유량의 감소량과 관련된다. 침투통이 침투트랜치 등과 조합하여 설치하는 경우 지반을 통한 침투량은 증가되나 쇄석 등의 설치에 따른 설치비 및 유지관리 비용이 증가된다.

침투통의 설계수두는 집수면적 및 유지관리를 감안하여 크기를 결정하여야 하나, 통상적으로

관의 설계수두는 300~500mm를 표준으로 하고 집수규모가 큰 경우 이 이상으로 하거나 집수규모가 작은 장소에서는 150mm를 최소로 한다. 단독으로 사용되는 경우의 월류관 및 조합으로 사용되는 경우의 투수관은 진흙의 퇴적깊이 등을 감안하여 관저부로부터 150mm를 확보하여야 한다.

침투통의 형상은 원형 또는 각형으로 하고 재질은 콘크리트 또는 합성수지 등을 표준으로 한다. 쇠석은 관의 외벽에 300mm이상 되는 두께로 설치하되 시공성을 감안하여 쇠석의 외벽면이 각형이 되도록 설치한다. 침투통 저면부의 쇠석의 두께는 200mm 이상 되도록 설치한다. 모래는 지반조건에 따라 50~150mm의 두께로 포설하며 지반이 사력 또는 사질토인 경우 설치를 생략할 수 있다.

침투통을 침투트렌트 등의 다른 유출저감시설과 조합하여 설치하는 경우 침투통은 침투통을 단독으로 설치하는 경우에 준하여 설치한다. 침투트렌치 등의 다른 유출저감시설은 진흙의 퇴적깊이 등을 감안하여 관저부로부터 최소 150mm를 확보하여 설치토록 하며, 투수관의 하단으로 200mm이상의 쇠석을 포설하며 투수관을 보호하기 위하여 투수관 상단으로 100mm이상의 쇠석과 쇠석상부에 투수시트를 포설한다.

4.2 침투트렌치

침투트렌치는 주로 건물 주변의 녹지와 광장, 또는 투수성의 큰 지반 등에 많이 설치되며 유입되는 토사 등의 청소 등 유지관리를 고려하여 침투통과 연결하여 주로 설치된다. 침투트렌치의 최대연장은 청소 등의 유지관리 등을 감안하여 관경의 120배 이하를 표준으로 한다. 침투트렌치의 표준구조는 그림3과 같다.

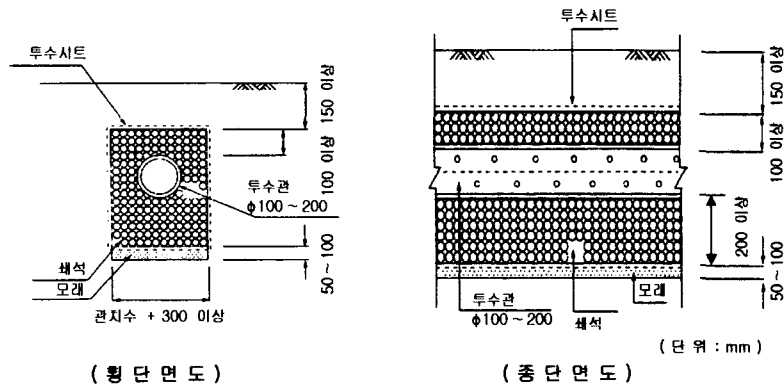


그림 3. 침투 트렌치의 표준구조

침투트렌치는 침투시설의 대표적인 것 중 하나로 침투 및 저류기능 이외에 우수관으로 사용이 가능하다. 침투트렌치는 유입되는 토사 등의 청소가 곤란하기 때문에 트렌치 전후에 침투통을 설치하여 토사 등의 유입을 방지한다. 투수관로내의 퇴적토사 등을 소통시키고 막힘에 대한 침투능력이 저하되는 경우의 통수기능을 보장하기 위하여 1~2%정도의 종단경사를 표준으로 하며, 통수기능이 보장되는 한도내에서 지형의 특성이나 규모를 감안하여 조정할 수 있다.

침투트렌치는 폭 600mm정도, 깊이 700mm정도를 표준으로 한다. 침투트렌치 내에는 접속된 침투통으로부터의 유입수를 균일하게 분산시키기 위해서 채움 쇠석 중에 투수관을 부설한다. 그 투수관의 직경은 100-200mm정도를 표준으로 한다. 쇠석상면에는 투수 시트를 깔고 보통 흙으로 메운다.

투수관의 저부에는 구멍을 열어놓지 않는 것으로 한다. 이것은 초기강우의 탁수를 하류의 침투통에 흘러 내려가게 함으로써 침투트렌치내부의 구멍막힘을 가능한 한 억제하기 위해서이다. 투수

관의 재질은 콘크리트, 얽화비닐 등으로 한다. 유공관을 사용하는 경우의 구멍 직경은 1cm정도로 하고, 구멍의 간격은 30cm정도 간격으로 Z자 배치로 한다. 투수관의 구멍 직경은 100-200mm 정도의 범위로 하며 일반적인 하수관의 설계와 같은 통수기능을 유지할 수 있도록 집수면적에 따라서 산정하는 것이 바람직하다. 쇄석상부에는 토사의 유입방지를 위해서 투수성이 있는 시트를 깔고, 시트위에 메운 흙의 두께는 잔디 등에 의한 영향을 피하기 위해서 150mm정도 이상으로 한다.

4.3 투수성 포장

투수성포장은 투수성 재료를 포장재료로 사용하여 우수를 노반, 필터층을 통하여 지반으로 침투시키도록 설치되며, 보도 및 자동차 통행이 적은 접근로, 주차장에 많이 이용된다. 투수성 포장의 표준구조는 그림4와 같다.

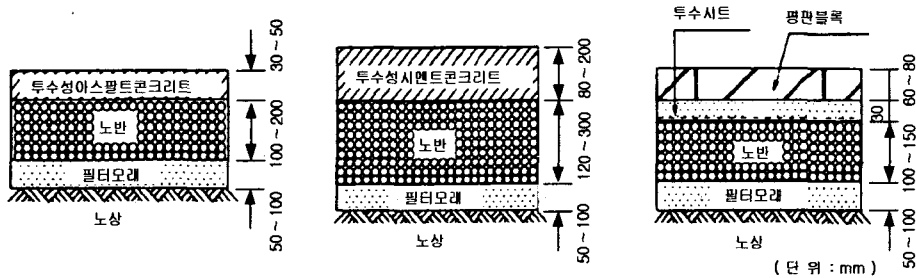


그림 4. 투수성 포장의 표준구조도

투수성포장의 적용범위는 보도를 중심으로 구멍막힘이 적다고 생각되어지는 생활도로 등의 교통량이 적은 차도 및 주차장 등의 포장으로 한다. 투수성포장은 포장체의 저류기능과 노상으로부터의 우수 침투기능을 갖고 있다. 투수성포장의 구조는, CBR 등 통상의 설계조건 이외에, 포장체에 부담시키는 설계저류량에 의해서 설계한다. 포장체의 저류량은, 포장재료가 가진 공극율로부터 산출한다. 포장재료의 공극율은 다져진 정도 등의 시공조건에 의해서 다르지만, 투수성 아스팔트의 경우 10~20%가 된다. 투수성포장은 다른 침투시설과 비교해서 기능유지가 어려운 경우가 많기 때문에 유지관리에 충분히 신중한 대응이 필요하다.

4.4 투수성 블록

투수성 블록포장은, 공원, 보도, 주차장 등에 이용하는 것으로서, 투수성 공극을 갖는 블록 하단에 빗물을 침투시키는 구조 또는 콘크리트블록 틈에 투수성이 좋은 흙을 채워서 빗물을 투수시키는 구조로 한다. 투수성 블록의 표준구조는 그림5와 같다.

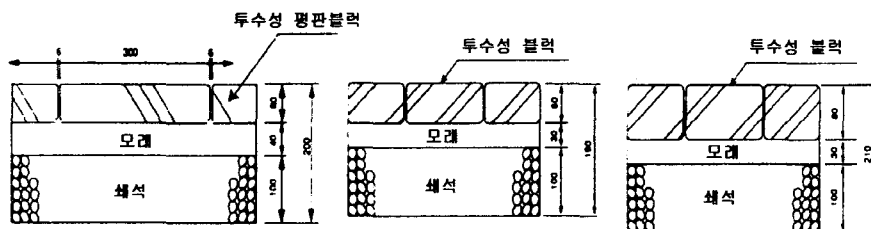


그림 5. 투수성 블록의 표준구조도

투수성 블록포장은 투수성 공극을 갖는 블록을 통해서 우수를 침투시키는 것으로서 다음과 같

이 설치된다.

- ① 투수성 평판블럭은 하중이 비교적 적은 공원, 보도, 주차장 및 진입부 등에 사용하며 투수성이 있는 노반 상에 설치한다. 그러나, 진입부 등에서 구조상 콘크리트로 다져진 경우에는 침투기능이 저하될 수 있다.
- ② 투수성 평판블럭의 구조는 노상으로부터 쇄석(C-30정도), 모래, 투수성평판(또는, 인터록킹블럭)의 순으로 한다.
- ③ 투수성 평판블럭으로부터 침투한 우수는 모래, 쇄석을 통해서 지반에 침투하지만, 노반의 다져짐이 불균일한 경우에는, 노반 아래에서 빗물의 이동에 따라서 모래가 흘러버려서 부분적으로 함몰하는 경우가 있다. 이렇기 때문에 경사면부에서의 적용은 피하는 것이 일반적이다.

5. 결 론

본 연구는 투수성 유출저감시설의 유출저감효과 및 그 적용 타당성을 검토하고 각 시설을 실제 시공하는데 지침이 될 수 있는 시설기준을 제정하기 위하여 수행되었다. 또한 시범지역을 선정하여 투수성 유출저감시설을 설치하고 유출저감시설의 효과를 정량화 분석하였고, 그 결과를 바탕으로 침투통, 침투트렌치, 투수성 포장, 투수성 보도 블럭의 시설기준을 제시하였다.

투수성 유출저감시설의 도입필요성 제시와 함께 각 투수성 유출저감시설의 표준구조를 제시하였고 과거에 설치되었던 투수성 유출저감시설의 설치효과를 정량적으로 조사 및 분석하였으며, 국내에서 계속적으로 자료를 수집하고 있는 청주 지역의 신설 도로에 설치된 침투통에서 2001년 강우사상에 대하여 그 수위를 실시간으로 측정하여 유출저감효과를 분석하였다. 또한, 침투통을 배수구역 전역으로 확대 설치한 경우를 가정하여 유역 단위의 효과를 모의하였다.

국내에서의 시범 적용사례 및 문헌연구를 통하여 투수성 유출저감 시설을 설치하는 경우 침투홍수량 및 직접 유출총량을 감소시키는 효과가 있음을 알 수 있으며, 이와 같은 시설들이 효과적으로 설치되는 경우 침수피해도 크게 경감시킬 수 있음을 알 수 있다. 특히 시공시의 주의사항 및 시공이후의 적절한 유지관리가 보장될 때 그 효과가 지속될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 단양군청, 홍수피해 예방을 위한 우수유출량 저감방안 활용 지침서, 1997
- 서울시정개발연구원, 우수유출률 저감대책, 1995
- 서울시정개발연구원, 우수유출 저감시설 기준연구 -설정 및 연구-, 1998
- 서울특별시, 우수유출 저감시설 시범사업 검토연구, 2000
- 행정자치부, '99 지방도로 정비사업 도로 측구 침투집수정 설치 설계지침, 1999
- 행정자치부 국립방재연구소, 우수유출 억제시설의 설치기법연구(I) -지방도로 측구의 침투집수정 설치를 중심으로-, 1998
- 행정자치부 국립방재연구소, 우수유출저감시설 설치기법연구(II) -시범유역 개발 및 저감효과 실측을 중심으로-, 1999
- 행정자치부 국립방재연구소, 우수유출저감시설 설치기법연구(III), 2000
- 雨水貯留浸透技術協會, 雨水貯留浸透施設總覽, 2000
- 雨水貯留浸透技術協會, 雨水浸貯留設技術指針(案), 1993
- 雨水貯留浸透技術協會, 雨水浸透施設技術指針(案) 調査・計劃編, 1995
- 雨水貯留浸透技術協會, 雨水浸透施設技術指針(案) 構造・施工・維持管理編, 2000
- 雨水貯留浸透技術協會, 雨水利用ハンドブック, 2001